

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-083694

(43)Date of publication of application : 26.03.1996

(51)Int.Cl.

H05H 1/46  
 C23C 16/50  
 C23F 4/00  
 H01L 21/205  
 H01L 21/3065

(21)Application number : 06-242241

(71)Applicant : OKI ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 09.09.1994

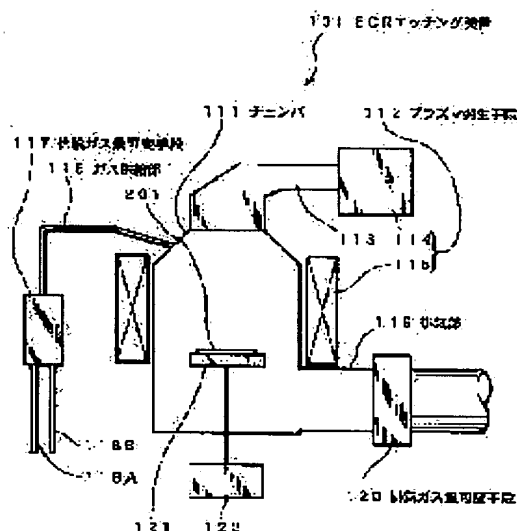
(72)Inventor : KIMURA YASUKI

## (54) PLASMA CONTROL METHOD AND PLASMA GENERATOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To independently cause a periodical change and time modulation of plasma density by determining a composition of fed gas and inputted power for production of plasma into a state to make a plasma atmosphere cause a phase change.

CONSTITUTION: A microwave generated from a microwave generating part 114 is inputted into a chamber 111 via a waveguide 113. The inputted power is determined at a value in the vicinity causing a phase change. The microwave causes ECR by a plain wave of 875 Gauss and is absorbed. High density plasma is formed in the vicinity of a plane P. Almost simultaneously with the input of the microwave, power is fed from an RF generating part 122 to an RF electrode 121 and etching of multilayer resist is started. At a time point when composition of ethanol exceeds 25%, power efficiency is changed into a low phase state, and when it becomes lower than 25%, the power efficiency is changed into a high phase state. Since the power efficiency is periodically changed in relation to the ethanol composition change, the plasma density is changed with the elapse of time.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-83694

(43) 公開日 平成8年(1996)3月26日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 1/46	C	9216-2G		
C 2 3 C 16/50				
C 2 3 F 4/00	D	9352-4K		
			H 0 1 L 21/ 302	A
				B

審査請求 未請求 請求項の数7 F D (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-242241

(22) 出願日 平成6年(1994)9月9日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 木村 泰樹

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

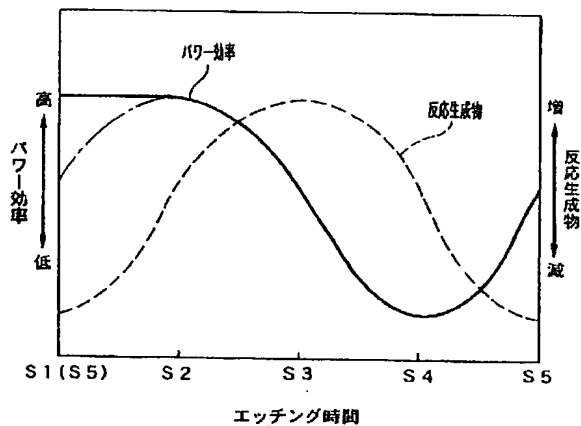
(74) 代理人 弁理士 船橋 國則

(54) 【発明の名称】 プラズマ制御方法およびプラズマ発生装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、投入パワーを変化させることなく既存のプラズマ発生装置でプラズマの時間変調を可能にする。

【構成】 プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定してプラズマを発生させることにより、プラズマ密度の周期的変化を自立的に起こさせる、または、図示はしないが、ガス組成を周期的に変動させて強制的にプラズマ密度を周期的に変化させる、もしくは、プラズマ雰囲気の圧力を周期的に変動させて強制的にプラズマ密度を周期的に変化させるプラズマ制御方法である。



パワー効率、反応生成物とエッチング時間との関係図

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定してプラズマを発生させることにより、プラズマ密度の周期的変化を自立的に起こさせることを特徴とするプラズマ制御方法。

【請求項2】 プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定してからプラズマを発生させるとともに、前記ガスの組成を周期的に変動させて、強制的にプラズマ密度を周期的に変化させることを特徴とするプラズマ制御方法。

【請求項3】 プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定するとともに、プラズマ雰囲気の圧力を周期的に変動させて、強制的にプラズマ密度を周期的に変化させることを特徴とするプラズマ制御方法。

【請求項4】 請求項3記載のプラズマ制御方法において、

前記プラズマ雰囲気の圧力の周期的変動は、該プラズマ雰囲気の排気量を周期的に変動させることにより起こさせることを特徴とするプラズマ制御方法。

【請求項5】 請求項3記載のプラズマ制御方法において、

前記プラズマ雰囲気の圧力の周期的変動は、該プラズマ雰囲気に供給するガス流量を周期的に変動させることにより起こさせることを特徴とするプラズマ制御方法。

【請求項6】 請求項1～請求項5のうちの複数項に記載のプラズマ制御方法を併用することを特徴とするプラズマ制御方法。

【請求項7】 請求項2～請求項5のうちのいずれか1項に記載のプラズマ制御方法を行うもので、チェンバーと、該チェンバー内にプラズマを発生させるプラズマ発生手段とを備えたプラズマ発生装置であって、プラズマ雰囲気を生成するガスを供給する際のガス供給量とその供給周期を制御するもので前記チェンバーに接続されたガス供給部に設けた供給ガス量可変手段と、プラズマ雰囲気を生成するガスを排気する際の排気量とその排気周期を制御するもので前記チェンバーに接続された排気部に設けた排気量可変手段とを備えたことを特徴とするプラズマ発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体装置の製造プロセスで利用されるプラズマを用いた加工でのプラズマ制御方法およびそのプラズマ発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 プラズマを励起するために投入するパワーを周期的に変調する方法（時間変調法）は、多くの報

告例がある。例えば、ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマおよびヘリコンプラズマでは、おもに投入パワーに依存する相変化が観測されている。この相変化は、特定の投入パワーを境にして、プラズマで消費されるパワーが階段状に変化するために起こる。そしてパワー効率は投入パワーが大きい方の領域で大きくなる。

【0003】 エッチングの分野では、第31回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集1a-X-6「微細溝形成における間欠エッチングの効果」(1984) 深野 哲、伊藤隆司 p. 303に開示されている。エッチングにおける時間変調法の効果は、マイクロローディング効果の低減とエッチングパターン形状の改善にある。

【0004】 次にプラズマCVDの分野では、第40回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集31p-X-13「RFシランプラズマ中のクラスタの検出」(1993) 福澤剛、白谷正治、渡辺征夫 p. 30に開示されている。プラズマCVDにおける時間変調法の効果は、気相成長雰囲気のパーティクルの低減にある。

【0005】 次に上記の応用の原理を開示した報告例としては、第40回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集29a-X-4「Ion-off変調によるECR-CHF<sub>3</sub>プラズマにおけるCF<sub>3</sub>ラジカルの制御」(1993) 高橋邦方、丸山幸児、岸本茂、堀勝、後藤俊夫 p. 2がある。これでは、プラズマに投入するパワーを時間変調することで、生成種の寿命の差により、連続放電の場合と比較して生成種の組成比が変化することが示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、時間変調の方法として投入パワーを変化させる方法では、特殊なボリューム操作回路もしくはon-off回路が必要になる。このため、通常のプラズマ発生装置（例えばプラズマエッチング装置、プラズマアッシング装置、プラズマCVD装置等）では容易に実施することができない。たとえ、上記回路を備えていても、放電用電源に大きな負荷がかかる。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明は、上記課題を解決するためになされたプラズマ制御方法およびプラズマ発生装置である。

【0008】 プラズマ制御方法には、(1) プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定してプラズマを発生させることにより、プラズマ密度の周期的変化を自立的に起こさせる方法、(2) プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気が相変化を起こす状態に設定してからプラズマを発生させるとともに、ガスの組成を周期的に変動させて、強制的にプラズマ密度を周期的に変化させる方法、(3)

上記(2)の方法でガスの組成を変動させる代わりに、プラズマ雰囲気中の圧力を周期的に変動させて、強制的にプラズマ密度を周期的に変化させる方法がある。

【0009】プラズマ発生装置は、チャンバーに接続したガス供給部に、プラズマ雰囲気を生成するガスを供給する際のガス供給量とその供給周期を制御する供給ガス量可変手段を設けるとともに、チャンバーに接続された排気部に、プラズマ雰囲気を生成するガスを排気する際の排気量とその排気周期を制御する排気量可変手段を設けたものである。

【0010】

【作用】上記(1)のプラズマ制御方法では、ガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気が相変化を起こす状態に設定することことから、プラズマを発生させた際には、反応生成物の増減によってプラズマのパワー効率が変化する。そのため、プラズマ密度が自立的にかつ周期的に変化する。上記(2)の方法では、ガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気が相変化を起こす状態に設定するとともに、ガスの組成を周期的に変動させることから、発生したプラズマの密度はガス組成の変動にともなって周期的に変化する。上記(3)の方法では、プラズマ雰囲気の圧力を周期的に変動させることから、発生するプラズマの密度は周期的に変化する。

【0011】上記プラズマ発生装置では、供給ガス量可変手段を設けたことによって、チャンバー内への供給ガス量が一定に保たれる。またはチャンバー内の供給ガス量が自在に変動される。そのため、複数のガスを供給する場合には、供給ガス量の総量を一定に保った状態でチャンバー内のガス組成が変動される。またはガス組成を一定に保った状態でチャンバー内の圧力が変動される。一方、排気量可変手段を設けたことにより、チャンバー内の圧力が一定に保たれる。またはチャンバー内の圧力が自在に変動される。

【0012】

【実施例】第1の発明のプラズマ制御方法は、プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気が相変化を起こす状態に設定する。そしてプラズマを発生させて、例えばエッチングを開始する。それによって、自立的にプラズマ密度が周期的に変化を起こす。これによって、プラズマ密度の時間変調を行う。

【0013】その具体的実施例を以下に説明する。ここでは、ECRエッチング装置を用いて多層レジスト膜を加工する場合の一例を示す。試料の被エッチング面には50%のエッチング面積を有する多層レジスト膜が形成されている。エッチングガスの組成は酸素(80%)とエタノール(20%)とからなり、ガスの総流量が100sccmになるように、酸素流量とエタノール(気体)流量とを制御する。ただし、このガス組成は、プラズマを発生させた際に相変化を起こすようにエッチング

面積に応じて変える必要がある。エッチング装置のチャンバー内の圧力は1Paに設定する。またチャンバーの内部には875Gaussの磁束密度をもつ平面を形成する。マイクロ波パワーは、プラズマの相変化が起きるしきい値付近に設定する。ここでは、投入パワーを1kWに設定する。またマイクロ波の投入とはほぼ同時にRF電極に50WのRFパワーを印加する。

【0014】上記条件に基づいて、多層レジストのエッチングを開始する。マイクロ波は875Gaussの平面波でECRを起こして吸収される。そしてその領域近傍で高密度プラズマが形成され、エッチングが進行する。その状態を、図1のパワー効率、反応生成物とエッチング時間との関係図および図2の制御方法の説明図によって説明する。本図1の実線はパワー効率を示し、破線は反応生成物を示す。また縦軸にパワー効率とエタノールの組成比とを示し、横軸にエッチング時間を示す。

【0015】図1、図2に示すように、プラズマを発生させたエッチング当初は、第1段階S1の「反応生成物少→パワー効率高」に示すように、エッチングによって発生する反応生成物が少ないのでパワー効率は高い相状態にある。

【0016】そして第2段階S2の「パワー効率高→反応生成物増」になる。この段階では、パワー効率が高い相状態にあるためエッチング速度は大きい。このため反応生成物の発生量が多くなるので反応生成物の組成比が増大する。

【0017】さらに第3段階S3の「反応生成物超過→パワー効率低」になると、反応生成物の組成比が一定以上になる。その結果、プラズマの発生が抑制されてパワー効率が低い相状態に移行する。

【0018】さらにエッチングが進行して第4段階S4の「パワー効率低→反応生成物減」になると、パワー効率が低くなってエッチング速度が小さくなる。それによって反応生成物の発生量が少なくなるため、反応生成物の組成比が減少する。

【0019】そして第5段階S5の「反応生成物減→パワー効率高」になって、反応生成物の組成比が一定以上に減少する。その結果、プラズマの発生が活発になってパワー効率が高い相状態に移行する。

【0020】さらにプラズマ処理を続けるならば、上記第2段階S2から上記第5段階S5までのサイクルを繰り返す。このときは、2点鎖線で示すように、図1の(S5)からS2に向かう。

【0021】上記プラズマ制御方法では、ガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気が相変化を起こす状態に設定することことから、プラズマを発生させた際には、反応生成物の増減によって自立的にパワー効率が変動する。すなわち、自立的にプラズマが周期的に相変化を起こす。したがって、特殊なon-off回路やボリューム操作回路を備えていないプラズマ発生装置であって

も、高周波発生回路に大きな負担をかけることなく、プラズマ密度の時間変調が行える。

【0022】次に上記マイクロ波の投入パワーの設定方法を説明する。投入パワーは、マイクロ波パワーを変化させてプラズマ密度の変化を実験的に調べる。例えば、RFバイアスのピークからピークまでの電圧 $V_{pp}$ をマグネトロン励起電流を変化させることで求める。RFバイアスのピークからピークまでの電圧 $V_{pp}$ が低くなるとプラズマ密度は高くなり、マグネトロン励起電流は投入パワーに比例する。

【0023】図3の $V_{pp}$ とマグネトロン励起電流との関係図に示すように、マグネトロン励起電流が280mAから300mAのときにRFバイアスのピークからピークまでの電圧 $V_{pp}$ が大きく変化する。この結果、相変化はマグネトロン励起電流が280mAから300mAで起きることがわかる。そこで、このマグネトロン励起電流に対応する投入パワーを設定すればよい。

【0024】次に第2の発明のプラズマ制御方法を説明する。この制御方法は、プラズマを生成するためのガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定してからプラズマを発生させる。それとともに、ガス組成を周期的に変動させて、強制的にプラズマ密度を周期的に変動させる。このようにして、プラズマの密度の時間変調を行う。

【0025】その具体的実施例を以下に説明する。ここでは、ECRエッチング装置を用いて多層レジスト膜を加工する場合の一例を示す。試料の被エッチング面にはエッチング面積がほとんどない多層レジスト膜が形成されている。エッチングガス組成は、時間平均したガス流量で酸素が75%、エタノールが25%である。そしてエタノールのガス組成の振幅が2%、周期が4秒になる正弦関数になるように制御する。また、ガスの総流量は100sccmになるように、酸素流量とエタノール流量とが調節される。

【0026】ここで上記エタノールのガス組成比の変動幅(振幅)を決定する方法について説明する。まず実験によって、エタノールのガス組成比をパラメータにして、RFバイアスのピークからピークまでの電圧 $V_{pp}$ とマグネトロン励起電流との関係を求める。その関係から、 $V_{pp}$ が高い(低い)状態から低い(高い)状態に大きく変化するマグネトロン励起電流を求める。この関係ではマグネトロン励起電流の変化に対して $V_{pp}$ が急激に変化する領域が存在する。その領域をプラズマの相変化の遷移領域とする。

【0027】次いでマグネトロン励起電流とエタノールの組成比との関係を図4に示す。図に示すように、エタノールの組成比に対してマグネトロン励起電流が所定の値以上では $V_{pp}$ が低い状態、すなわちプラズマの生成効率が高い状態にある。他方、マグネトロン励起電流が所定の値以下では $V_{pp}$ が高い状態、すなわちプラズマの生

成効率が低い状態にある。そして、その間が $V_{pp}$ が大きく変動する遷移領域(斜線で示す部分)になる。したがって、エタノールのガス組成比はこの遷移領域内で変動させればよい。ここでは先に説明したように、一例として、エタノールの平均ガス組成比を25%とし、その変動範囲を2%とする。

【0028】またエッチング装置のチェンバー内の圧力は1Paに設定する。チェンバーの内部には875Gaussの磁束密度をもつ平面を形成する。マイクロ波パワーは、上記ガス組成でプラズマの相変化が起きるしきい値付近に設定する。ここでは、投入パワーを1kWに設定する。またマイクロ波の投入とはほぼ同時にRF電極に50WのRFパワーを印加する。

【0029】上記条件に基づいて、多層レジストのエッチングを開始する。マイクロ波は875Gaussの平面波でECRを起こし吸収される。そしてその領域近傍で高密度プラズマが形成され、エッチングが進行する。

【0030】上記エッチングを、図5のパワー効率、エタノールの組成比と時間との関係図によって説明する。本図5の実線はパワー効率を示し、破線はエタノールの組成比を示す。また縦軸にパワー効率とエタノールの組成比とを示し、横軸に時間を示す。

【0031】図に示すように、エタノールの組成が25%より増加した時点で、パワー効率は低い相状態に変化する。一方、エタノールの組成が25%より減少した時点で、パワー効率は高い相状態に変化する。

【0032】このように、エタノールの組成比の周期的変化に対応して、パワー効率は周期的に変化する。したがって、プラズマの密度は時間経過とともに周期的に変動する。なお、高効率状態と低効率状態の時間比は、時間平均したガス組成とガス組成の振幅により制御される。

【0033】また上記実施例では、ガス組成を正弦関数で制御したが鋸波等の他の周期関数で制御することが可能である。また、酸素とエタノールとの組成を制御した場合の多層レジスト膜のエッチングの例を示したが、プラズマCVD等にも適用することが可能である。プラズマCVDの場合には、例えば反応ガスにシラン( $\text{SiH}_4$ )と水素( $\text{H}_2$ )とを用い、各ガス成分の組成比を制御することによってプラズマのパワー効率を変動させることが可能である。

【0034】上記プラズマ制御方法では、プラズマが相変化を起こす状態にガス組成と投入パワーとを設定する。それとともに、ガス組成を周期的に変動させることから、発生したプラズマはガス組成の変動にともなってプラズマが周期的に相変化を起こす。またガス組成を変化させることでプラズマを強制的に相変化させているので、いかなる試料に対してもプラズマに相変化を起こさせることが可能になる。したがって、プラズマCVDへの適用も図れる。

【0035】次に第3の発明のプラズマ制御方法を説明する。この制御方法は、プラズマを生成するために供給するガスの組成と投入パワーとをプラズマ雰囲気相変化を起こす状態に設定する。それとともに、プラズマ雰囲気の圧力を周期的に変動させて、強制的にプラズマ密度を周期的に変動させる。これによって、プラズマの密度の時間変調を行う。

【0036】その具体的実施例を以下に説明する。ここでは、チェンバー内のガス排気量を周期的に変動させて、チェンバー内の圧力を変動させる方法を説明する。エッチング装置には、一例としてECREッチング装置を用い、多層レジスト膜を加工する。試料の被エッチング面にはエッチング面積がほとんどない多層レジスト膜が形成されている。

【0037】エッチングガス組成は、酸素(80%)とエタノール(20%)とからなり、ガスの総流量が100 sccmになるように、酸素流量とエタノール流量とを制御する。ただし、このガス組成は、エッチング面積に応じて変える。エッチング装置のチェンバー内の圧力は、相変化を発生する圧力として、例えば時間平均で1 Paに設定する。そしてガス排気量を周期的に変動させる。ここでは、圧力を10%の振幅で4秒の周期で正弦関数に制御する。

【0038】チェンバーの内部には875 Gaussの磁束密度をもつ平面を形成する。マイクロ波パワーは、プラズマの相変化が起きるしきい値付近に設定する。ここでは、投入パワーを1 kWに設定する。またマイクロ波の投入とはほぼ同時にRF電極に50 WのRFパワーを印加する。

【0039】上記圧力の振幅値と投入パワーの値は、実験によって求める。まず、チェンバー内のプラズマ雰囲気の圧力をパラメータにして、RFバイアスのピークからピークまでの電圧 $V_{pp}$ とマグネトロン励起電流との関係を求める。その関係から、 $V_{pp}$ が高い(低い)状態から低い(高い)状態に変化するマグネトロン励起電流を求める。この関係ではマグネトロン励起電流の変化に対して $V_{pp}$ が急激に変化する領域が存在する。その領域がプラズマの相変化の遷移領域になる。

【0040】そしてマグネトロン励起電流とチェンバー内圧力との関係を求める。チェンバー内圧力に対してマグネトロン励起電流が所定の値以上では $V_{pp}$ が低い状態、すなわちプラズマの生成効率が低い状態にあり、マグネトロン励起電流が所定の値以下では $V_{pp}$ が高い状態、すなわちプラズマの生成効率が低い状態にある。そして、その間が遷移領域になっているので、その遷移領域内で所定のマグネトロン励起電流に対するチェンバー内圧力の変動幅を設定する。ここでマグネトロン励起電流は投入パワーに比例するので、投入パワーも求まる。

【0041】上記条件に基づいて、多層レジストのエッチングを開始する。マイクロ波は875 Gaussの平

面波でECRを起し吸収される。そしてその領域近傍で高密度プラズマが形成され、エッチングが進行する。

【0042】上記エッチングを、図6のパワー効率、圧力と時間との関係図によって説明する。本図6の実線はパワー効率を示し、破線は圧力を示す。また縦軸にパワー効率と圧力とを示し、横軸に時間を示す。

【0043】図に示すように、圧力が1 Paより高くなった時点で、パワー効率が低い相状態に変化する。一方、圧力が1 Paより低くなった時点で、パワー効率が高い相状態に変化する。上記プラズマ効率の高効率状態と低効率状態との時間比は、時間平均した圧力と圧力の振幅とにより制御できる。

【0044】また、上記プラズマ雰囲気の圧力は正弦関数で制御したが、鋸波等の別の周期関数で制御することも可能である。さらに上記第3の発明の実施例では、酸素とエタノールの組成を制御した場合の多層レジスト膜のエッチング例を示したが、例えばシラン( $\text{SiH}_4$ )と水素( $\text{H}_2$ )の組成を制御したシリコンのプラズマCVD等でも実施が可能である。

【0045】上記プラズマ制御方法では、プラズマが相変化を起こす状態にガス組成と投入パワーとを設定する。それとともに、プラズマ雰囲気の圧力を周期的に変動させることから、発生するプラズマは周期的に相変化を起こす。したがって、プラズマ密度の時間変調が行える。またこの制御方法は、チェンバー内にプラズマを生成するための供給ガスを混合ガスとして供給される場合にも適用できる。さらに相変化に対してガス組成の依存性が小さい系にも適用することができる。

【0046】次にプラズマ雰囲気の圧力を変動させる別の方法を説明する。その方法は、排気量を所定量に固定した状態で、チェンバー内に供給されるガス組成を一定に保ちつつガスの供給量を周期的に変化させることで、チェンバー内のプラズマ雰囲気の圧力を周期的に変動させる。この方法でも上記と同様の効果が得られる。

【0047】上記各発明の実施例で説明したプラズマ制御方法のうち、複数の制御方法を選択して行うことも可能である。例えば、第2の発明と第3の発明とを組み合わせで行う。すなわち、供給するガス組成を変動させるとともに、プラズマ雰囲気の圧力を変動させる。このときのガス組成を変動させることとプラズマ雰囲気の圧力を変動させることによって、プラズマ密度の変化が打ち消し合わないよう、ガス組成を変動させるタイミングと圧力を変動させるタイミングとを合わせる。すなわち、エタノールの供給量を少なくするときに合わせてプラズマ雰囲気の圧力を低くする。そしてプラズマ密度を高める。逆にエタノールの供給量を多くするときに合わせてプラズマ雰囲気の圧力を高くすることで、プラズマ密度を低下させる。

【0048】上記複数の制御方法を選択して行うプラズマ制御方法では、プラズマ密度の周期的変動がより起

りやすくなる。

【0049】次に上記各発明のプラズマ制御方法を実施するためのプラズマ発生装置を、図7の概略構成図によって説明する。図では、プラズマ発生装置の一例として、ECRエッチング装置101を示す。

【0050】図に示すように、ECRエッチング装置101には、チェンバー111と、このチェンバー111内にプラズマを発生させるプラズマ発生部112とが設けられている。プラズマ発生部112は、チェンバー111に導波管113を介して接続されているマイクロ波発生部114と、チェンバー111の側周に設けた磁石115とからなる。上記チェンバー111には、反応ガスを供給するためのガス供給部116が接続されていて、このガス供給部116には、供給ガス量可変手段117が設置されている。供給ガス量可変手段117にはガス配管118A、118Bが接続されている。また上記チェンバー111には排気部119が接続され、この排気部119には排気ガス量可変手段120が設置されている。上記チェンバー111の内部には、試料201を載置するRF電極121が設置されていて、このRF電極121にはRF発生部122が接続されている。

【0051】次に上記供給ガス量可変手段117の構成の一例を、図8の概略構成図によって説明する。この供給ガス量可変手段117は、各ガス配管118A、118Bに設けた可変バルブ131A、131B、バルブ制御部132および入力部133から構成されている。上記可変バルブ131A、131Bには、図示はしないが、バルブ駆動部が設けられている。なお、制御部132と入力部133とは、一体に構成してもよい。

【0052】上記入力部133は、可変バルブ131A、131Bを操作するための条件を入力するもので、例えばガス配管118A、118Bの流量の可変範囲と可変周期とが入力される。上記バルブ制御部132は、上記入力部133に入力された条件を可変バルブ131A、131Bの操作信号に変換して、各可変バルブ131A、131Bに操作指令を行う。上記可変バルブ131A、131Bは、バルブ制御部132からの操作指令を受けてガス配管118A、118Bの流量を調節する。

【0053】次に上記供給ガス量可変手段117の動作を説明する。まず入力部133に可変バルブ131A、131Bを操作するための条件を入力する。例えば、ガス配管118A、118Bの流量の可変範囲と可変周期とを入力する。次いで入力部133に入力された条件をバルブ制御部132で可変バルブ131A、131Bの操作信号に変換して、その操作信号を各可変バルブ131A、131Bに指令する。その操作信号を受けた可変バルブ131A、131Bは、操作信号に基づいて作動し、ガス配管118A、118Bを流れるガスの流量を所定の流量範囲内で周期的に変化させる。

【0054】次に上記排気ガス量可変手段120の構成例の一例を、図9の概略構成図によって説明する。この上記排気ガス量可変手段120は、排気部119に設けた可変バルブ141、バルブ制御部142および入力部143から構成されている。上記可変バルブ141には、図示はしないが、バルブ駆動部が設けられている。なお、制御部142と入力部143とは、一体に構成してもよい。

【0055】上記入力部143は、可変バルブ141を操作するための条件を入力するもので、例えば排気部119の流量の可変範囲と可変周期とが入力される。上記バルブ制御部142は、上記入力部143に入力された条件を可変バルブ141の操作信号に変換して、可変バルブ141に操作指令を行う。上記可変バルブ141は、バルブ制御部142からの操作指令を受けて排気管119の流量を調節する。

【0056】次に上記排気ガス量可変手段120の動作を説明する。まず入力部143に可変バルブ141を操作するための条件を入力する。例えば、排気管119の流量の可変範囲と可変周期とを入力する。次いで入力部143に入力された条件をバルブ制御部142で可変バルブ141の操作信号に変換して、その操作信号を各可変バルブ141に指令する。その操作信号を受けた可変バルブ141は、操作信号に基づいて作動し、排気管119を流れるガスの流量を所定の流量範囲内で周期的に変化させる。

【0057】次に、上記ECRエッチング装置101を用いて、具体的なプラズマ処理として、上記第2の発明で説明したガスの組成を変動させる処理方法を説明する。

【0058】まず、RF電極121上に試料201を設置する。この試料201の被エッチング面にはエッチング面積がほとんどない多層レジスト膜（図示省略）が形成されている。

【0059】次にガス供給部116からガスを以下の手順にしたがって導入する。ガスはガス配管118A、118Bにより供給ガス量可変手段117に供給される。ここでは、ガスAとして酸素、ガスBとしてエタノールを用いる。

【0060】上記供給ガス量可変手段117では、時間平均したガス流量で酸素を75%、エタノールを25%に制御する。そしてエタノールのガス組成の振幅を2%、周期が4秒になる正弦関数になるように変動させる。またガスの総流量は100sccmになるように、酸素流量とエタノール流量とが調節される。さらに、排気ガス量可変手段120によりガスの排気量を調整することで、チェンバー111内の圧力を常に一定に1Paに保つ。

【0061】マイクロ波発生部114より発生したマイクロ波は、導波管113を通り、チェンバー111に投



入される。投入パワーは、相変化を起こす近傍の投入パワーに設定される。ここでは、投入パワーを1kWに設定する。マイクロ波は875 Gaussの平面波でECRを起こし吸収される。そして平面P近傍で高密度プラズマが形成される。マイクロ波の投入とほぼ同時にRF発生部122よりRF電極121にパワーが供給される。ここでは、RFパワーを50Wに設定する。

【0062】RFパワーの供給とともに、多層レジストのエッチングが開始される。エタノールの組成が25%より増加した時点で、パワー効率は低い相状態に変化する。一方、エタノールの組成が25%より減少した時点で、パワー効率は高い相状態に変化する。このように、エタノールの組成比の周期的変化に対応して、パワー効率は周期的に変化するため、プラズマの密度は時間経過とともに周期的に変動する。以下、上記のサイクルを繰り返すことによって、レジスト膜の高精度なエッチングが行われる。

【0063】上記各実施例ではECRプラズマを例にして説明したが、ヘリコンプラズマであっても同様の効果が得られる。

【0064】

【発明の効果】以上、説明したように本発明によれば、自立的にプラズマ密度を周期的に変化させるプラズマ制御方法によれば、特殊なon-off回路やボリューム操作回路を備えていないプラズマ発生装置であっても、高周波発生回路に大きな負担をかけることなく、プラズマ密度の時間変調を行うことが可能になる。またガス組成を周期的に変動させるプラズマ制御方法によれば、上記同様の効果とともに、いかなる試料であっても適用することができ、さらにCVDへの適用も可能になる。圧力を周期的に変動させるプラズマ制御方法によれば、上記同様の効果とともに、混合ガスに対しても適用でき\*

\*る。さらにプラズマの相変化に対してガス組成の依存性が小さい系にも適用することができる。

【0065】本発明のプラズマ発生装置によれば、供給ガス量可変手段と排気量可変手段とを設けたので、チェンバー内への供給ガス量を一定に保つ、または自在に変動させることが可能になるとともに、チェンバーからの排気量を一定に保つ、または自在に変動させることが可能になる。その結果、プラズマ生成ガスの供給量の変化、チェンバー内圧力の変化を自在に行うことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】パワー効率、反応生成物とエッチング時間との関係図である。

【図2】制御方法の説明図である。

【図3】 $V_{pp}$ とマグネトロン励起電流との関係図である。

【図4】マグネトロン励起電流とエタノールの組成比との関係図である。

【図5】パワー効率、エタノールの組成比と時間との関係図である。

【図6】パワー効率、圧力と時間との関係図である。

【図7】ECRエッチング装置の概略構成図である。

【図8】供給ガス量可変手段の構成例の説明図である。

【図9】排気ガス量可変手段の構成例の説明図である。

【符号の説明】

101 プラズマ発生装置

111 チェンバー

112 プラズマ発生手段

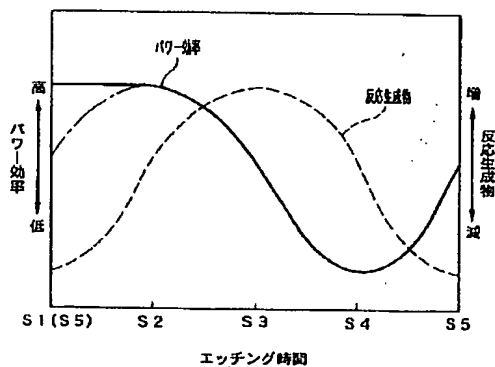
116 ガス供給部

117 供給ガス量可変手段

119 排気部

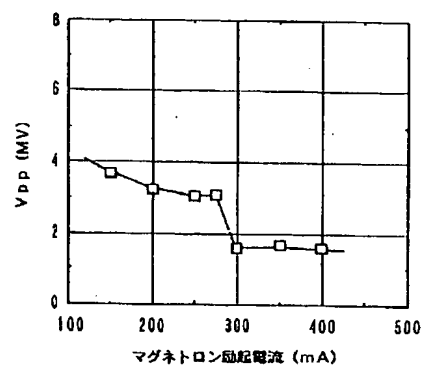
120 排気量可変手段

【図1】



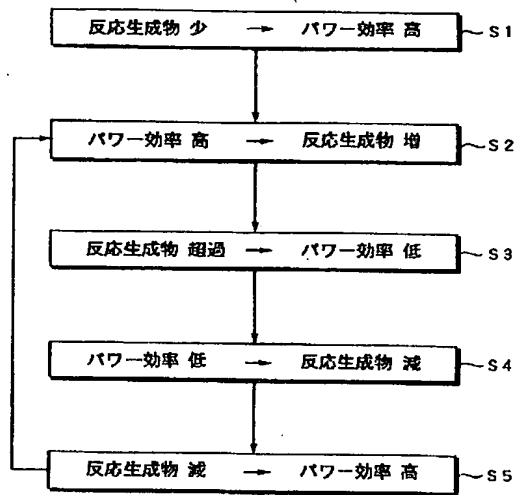
パワー効率、反応生成物とエッチング時間との関係図

【図3】



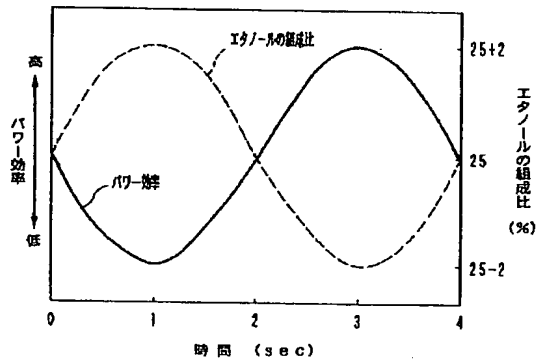
$V_{pp}$ とマグネトロン励起電流との関係図

【図2】



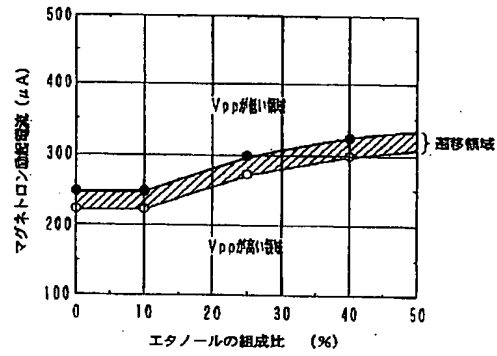
制御方法の説明図

【図5】



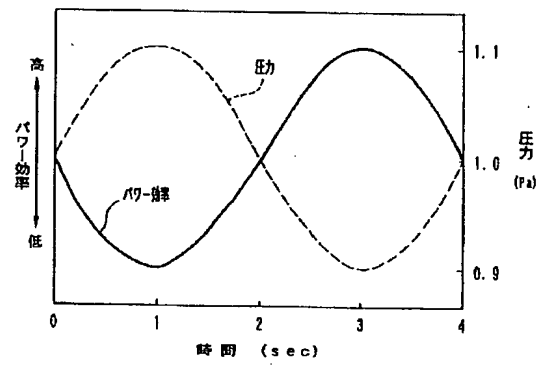
パワー効率、エタノールの組成比と時間との関係図

【図4】



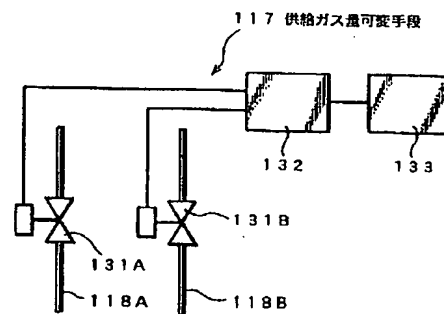
マグネトロン励起電流とエタノールの組成比との関係図

【図6】



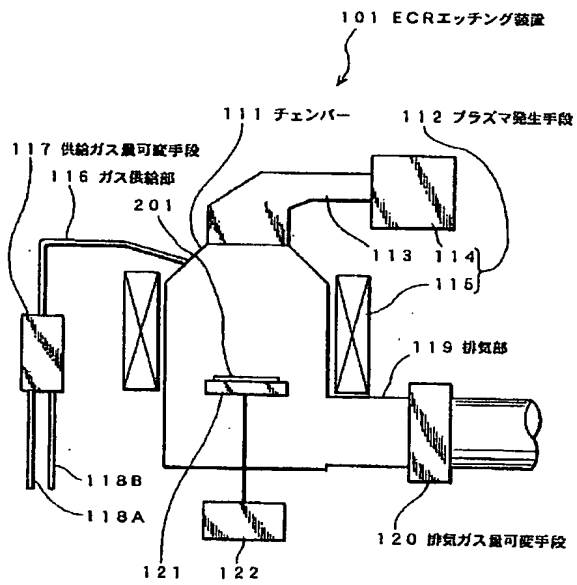
パワー効率、圧力と時間との関係図

【図8】



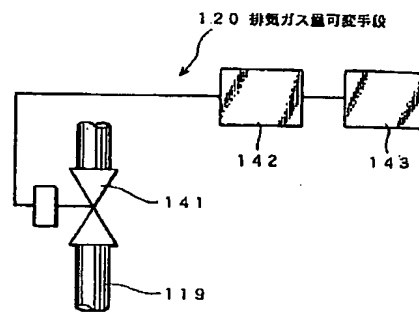
供給ガス量可変手段の構成例の説明図

【図7】



ECRエッチング装置の概略構成図

【図9】



排気ガス量可変手段の構成例の説明図

フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>H01L 21/205  
21/3065

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**